

## 2급 방진마스크 밀착도 평가

조기홍 · 김현수 · 최아름 · 천지영 · 강태원<sup>1</sup> · 김민수<sup>2</sup> · 박경학<sup>3</sup> · 김제원<sup>1\*</sup>

대한산업보건협회 산업보건환경연구원, <sup>1</sup>강원대학교,

<sup>2</sup>대한산업보건협회 서울지역본부 환경위생팀, <sup>3</sup>대한산업보건협회 서울지역본부 보건관리팀

## Fit Tests for Second-class Half Masks

Kee Hong Cho · Hyun Soo Kim · Ah Rum Choi · Ji Young Chun ·

Tae Won Kang<sup>1</sup> · Min Su Kim<sup>2</sup> · Kyeong Hak Park<sup>3</sup> · Ze One Kim<sup>1\*</sup>

*Industrial Health and Work Environment Research Institute, Korean Industrial Health Association*

*<sup>1</sup>Kangwon National University*

*<sup>2</sup>Seoul Regional Headquarters Occupational and Environmental Hygiene Team,*

*Korean Industrial Health Association*

*<sup>3</sup>Seoul Regional Headquarters Industrial Health Management Team, Korean Industrial Health Association*

### ABSTRACT

**Objectives:** The purpose of this study is to confirm whether there is a factor to affect the evaluation of fit test of a 2nd class half masks using a OPC test method.

**Methods:** Total 34 adults including Males and Females were tested using OPC-based fit testing equipment while wearing a 2nd class half filtered mask.

**Results:** 1. The result of measuring face dimensions using different tools such as a 3D scanner and digital calipers revealed that the variation of lip width was not statistically significant because there was only a difference of about 4 mm. However, it showed that a difference in face length was statistically significant enough with 10 mm( $p<0.000$ ).

2. The fit factor for each exercise stage according to gender was the highest at 124.54( $p<0.001$ ) in Step 3, and the fit factor was the lowest at 73.75 in Step 1.

3. In the evaluation of the degree of fit factor according to gender, female passed 67.44%, which was higher than the value in male( $p<0.038$ ).

4. The acceptance rate of the group having a face length of shorter than 110 mm was 91.67%. On the other hand, the acceptance rate of the group with a face length of longer than 110 mm was 47.27%( $p<0.000$ ).

5. The fit test was possible because the fit factor with 2nd class half masks corresponding to FFP1(Filtering Face Piece 1) was passed 55% or more.


**Conclusions:** The test results showed that using a 2nd class half filtered mask, it is important to wear a properly designed mask so that face size does not affect the fit factor.


**Key words:** Fit test, 2nd class half filtered mask, 3D, anthropometric, Leakage


\*Corresponding author: Ze One Kim Tel: 033-250-7107 E-mail: kimzeone2010@kangwon.ac.kr


1, Kangwondaehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do, 24341


Received: March 29, 2022, Revised: April 27, 2022, Accepted: June 20, 2022


 Kee Hong Cho <http://orcid.org/0000-0001-7484-6875>


 Ah Rum Choi <https://orcid.org/0000-0002-7413-4373>

 Tae Won Kang <https://orcid.org/0000-0001-8327-2842>

 Kyeong Hak Park <https://orcid.org/0000-0002-2780-1372>

 Hyun Soo Kim <http://orcid.org/0000-0002-4997-8574>

 Ji Young Chun <https://orcid.org/0000-0003-4336-5555>

 Min Su Kim <https://orcid.org/0000-0002-9686-9784>

 Ze One Kim <https://orcid.org/0000-0002-7652-0788>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서 론

2020년 초에 코로나19가 유행되기 시작하면서부터 전 세계적으로 호흡보호구의 관심이 증가되고 있다 (Park et al., 2021). 방진마스크나 N95마스크처럼 안면부가 얼굴이나 두부에 직접 닿는 보호구를 밀착형 호흡보호구라고 하며, 밀착의 정도가 다양한 상황에 대응하도록 안면 피부와 보호구 사이로 새어 들어오지 않게 적합한 마스크 사이즈 선택과 올바른 착용방법이 중요하다. 호흡보호구 선정·사용 및 관리에 관한 지침(KOSHA, 2020)에서는 방진마스크 밀착도 검사의 정량적 방법으로 공기중 에어로졸 측정법을 권고하고 있다.

밀착도 검사(Fit test)는 호흡보호구가 착용자의 얼굴에 효과적으로 밀착되는지 확인하기 위한 검사로서 (KOSHA, 2020), 밀착성능을 보기 위해 밀착도 검사 시 1,2급 방진필터는 반드시 여과효율이 99.5%인 특급방진필터로 교체해야 한다. 1,2급 마스크(KF94, KF80)의 경우, 필터의 여과효율이 낮기 때문에 정확한 표현으로는 ‘간이 누설률 검사’라 할 수 있으며, 투과가 가장 잘 되는 0.1~0.4  $\mu\text{m}$ 의 입경을 통제할 수 있는 장비를 활용한다면 산업용 1급(보건용 KF94)마스크에 대한 검사는 밀착도 검사라고 할 수 있지만 (OSHRI, 2017), 2급 방진마스크는 해당되지 않는다. 그러나 산업안전보건인증원(Occupational Safety & Health Certification Institute, OSHCI)에서 제공하는 우리나라 안면부 여과식 마스크 안전인증 현황 (2009~2022)을 살펴보면 1급 265개, 특급 47개, 2급 335개로 2급 방진마스크가 가장 많이 인증 받고 있으며(OSHCI, 2022), 영국안전보건청(Health and Safety Executive, HSE)에서는 국내 2급 방진마스크에 해당하는 FFP1(filtering face piece 1)의 밀착도 검사에 대한 밀착계수(fit factor, FF)를 100 이상으로 권고하고 있으므로(HSE, 2019), 2급 방진 마스크에 대한 밀착도 검사도 수행해 볼 필요성은 있다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 개념적으로는 간이 누설률 검사지만 1급 마스크의 밀착성능을 평가할 수 있는 밀착도 평가방법을 2급 방진마스크에 적용하여 밀착계수 및 합격률을 조사함으로써 밀착도 평가가 가능한지 확인하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구 대상자 선정

본 연구는 만 19세 이상의 신체 건강한 성인 대상의 모집공고문을 게시하였고, 남성 23명, 여성은 11명으로 총 34명을 대상으로 연구를 수행하였다. 밀착도 검사 전 설문조사에서 최근(일주일 이내) 건강 상태 중 호흡 곤란, 실신 또는 현기증, 천명, 심장이나 폐 관련 질환, 임신(임신 가능), 심한 두통, 가슴 통증, 심한 마비증상, 부정맥, 걸을 때 불편함 또는 통증, 고혈압 또는 저혈압, 발작 등이 발생한 적이 있을 경우 검사에서 제외하였다. 또한, 본인이 건강상태가 좋지 않다고 느끼거나 밀착도 검사 내용을 검토 후 검사를 진행하는데 안전하지 못하다고 느끼는 경우 검사에서 제외하였다. 연구참여자에게는 연구참여 신청서, 동의서, 검사전 설문지를 작성하도록 하였고, 강원대학교 생명윤리심의위원회의 심의(KWNUIRB-2021-05-008-002)를 받았다.

### 2. 연구 방법

#### 1) 연구참여자의 얼굴 치수 측정

디지털 캘리퍼(SHAHE, Wenzhou Sanhe Measuring Instrument, China)와 3D 스캐너(EVA, Artec)를 이용하여 연구참여자의 얼굴치수를 측정하였으며 Lee & Yang.(2002)의 연구에서 측정한 입술너비(lip length)와 얼굴 길이(Face length)를 측정하였다. 얼굴에는 다양한 측정 포인트가 존재하지만 국가기술표준원에서 수행한 한국인 인체측정조사 사업(Size Korea)에 의해 land marks를 입술 너비의 기준 양쪽 입아귀 점 사이의 수평거리를 선정하였고, 얼굴 수직 길이는 코뿌리 점에서 턱끝점까지의 거리를 측정하였다(Size Korea Center, 2021).

#### 2) 검사에 사용한 마스크

밀착도 검사에 사용된 마스크는 컵형 2급 반면형 여과식 마스크(Clean Top 203, Evergreen, Korea)로써 0.04  $\mu\text{m}$ ~1  $\mu\text{m}$ (평균입경은 약 0.6  $\mu\text{m}$ ) 입경의 분진에 대한 포집효율이 80.0% 이상이고 누설률 25% 이하의 성능기준을 충족하여 국가통합인증마크(Korea Certification Mark, KC Mark)를 받은 마스크이다. 마스크를 접었을 때 전체 세로길이는 150 mm이고, 코가 닿는 스펀지 형태의 내부 seal로부터의 세로길이는 110 mm이다(Figure 1).

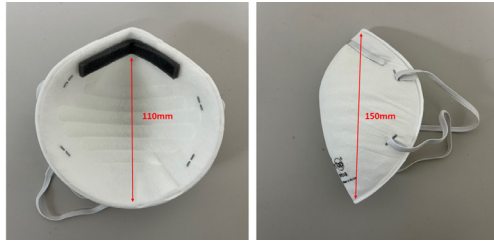


Figure 1. Length of the mask

### 3) 밀착도 검사 기기

밀착도 검사는 MT-05U(Sibata Scientific Technologies Ltd., Nakane Soka-City, Saitama, Japan) 장비를 사용하였다. MT-05U 장비는 기기 내부에 히터가 내장되어 있어 수분이 제거된 건조한 상태의 입자를 광산란 계수 방식(optical particle counting, OPC)으로 측정하는 장비로 필터 포집효율이 99% 이상일 때에는 “99+ mode”, 99% 미만일 때에는 “95 mode”를 선택하도록 되어 있다. 따라서 본 연구에서는 제조사가 권고하는 “95 mode”를 선택하여 입자크기가 0.5  $\mu\text{m}$  이상 입자를 계수할 수 있도록 설정된 조건에서 검사를 진행하였다.

### 4) 검사실 환경

밀착도 검사 장소는 약 33  $\text{m}^2$ 의 공간으로 검사 시에는 연구참여자와 검사자 2명만 있는 환경을 갖추었고 입자발생기(BONECO, SWISS)를 통해 500 ml 증류수에 염화나트륨(sodium chloride) 2정을 투입하여 초음파를 발생시켰다.

### 5) 밀착도 검사

연구 참여자는 착용한 마스크를 바꾸지 않고 연속하여 4회에 걸쳐 밀착도 검사를 실시하였다. 밀착도 검사 방법은 KOSHA GUIDE(H-82-2020)에서 제시하는 4단계 방법을 이용하였다. 이 검사방법은 4단계로 나누어져 있으며, 1단계 허리 굽혔다 펴기, 2단계 말하기, 3단계 머리 좌우로 움직이기, 4단계 머리 상하로 움직이기로 1회 검사 소요시간은 2분 29초이다. 연구 참여자는 1회 검사를 마치면 마스크를 착용한 상태에서 약 1분 정도 휴식을 취한 후 다시 검사를 시작하였다.

### 6) 밀착계수 계산 및 평가

운동검사 단계를 나타내는 밀착계수는 마스크 밖의 입자농도와 마스크 안의 입자농도의 비로 계산하였고, 전체 밀착계수(overall fit factor, FFA)는 다음과 같이

계산하였다.

$$\text{Fit Factor} = \frac{C_o}{C_i} \quad (1)$$

$C_o$ : 마스크 밖의 입자농도

$C_i$ : 마스크 안의 입자농도

$$FF_A = \frac{4}{\left(\frac{1}{FF_1} + \frac{1}{FF_2} + \frac{1}{FF_3} + \frac{1}{FF_4}\right)} \quad (2)$$

KOSHA GUIDE(H-82-2020)와 미국국가표준협회(American National Standards Institute, ANSI) 기준에 따라 밀착계수 값이 100 이상이면 합격으로 판단하였다(ANSI, 1992).

### 3. 통계 분석

연구참여자의 일반적인 특성은 빈도분석을 실시하였고, 3D 스캐너와 디지털 캘리퍼를 이용한 연구 참여자의 얼굴치수는 정규분포를 이루고 있어 산술평균과 표준편차로 제시하였으며, 두 장비간의 얼굴치수 비교를 위해 paired t-test를 실시하였다. 밀착계수는 Shapiro-Wilk 검정에서 대수정규분포를 하고 있어 기하평균(geometric mean, GM)과 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD)로 제시하였으며, 성별 운동 단계별 밀착계수 비교는 Kruskal Wallis 검정을 실시하였고, 성별 및 얼굴 길이별 밀착계수 합격을 비교는 카이제곱 검정을 실시하였다. 자료 분석은 SPSS(ver.21.0, IBM, New York, USA)를 활용하였다.

## III. 결 과

### 1. 연구 결과

#### 1) 연구참여자의 일반적 특성

연구에 참여한 총 대상자는 34명으로, 남성 23명(68%), 여성 11명(32%)이 참여하였다. 남성의 평균연령은  $33 \pm 10.1$ 세, 여성의 평균연령은  $29 \pm 5.7$ 세, 전체 평균연령은  $32 \pm 7.2$ 세로 나타났다.

#### 2) 3D 스캐너와 디지털 캘리퍼를 이용한 얼굴 치수 비교

3D 스캐너와 디지털 캘리퍼 두 개 장비를 동시에 측정한 12명의 결과는 Table 1과 같다. 3D 스캐너로 측정된 입술 너비의 평균 $\pm$ 표준편차는  $51.17 \pm 5.79$  mm, 얼굴 길

**Table 1.** Comparison of face dimensions by 3D scanner and digital caliper

Classification	n	3D Scanner		Digital Caliper		p-value*
		AM	SD	AM	SD	
Lip length	12	51.17	5.79	47.89	3.28	0.072
Face length	12	126.43	4.25	117.03	5.49	0.000

Abbreviation : AM, arithmetic mean; SD, Standard deviation

\*P-value was calculated by paired t-test

이는  $126.43 \pm 4.25$  mm이었으며, 디지털 캘리퍼의 입술 너비는  $47.89 \pm 3.28$  mm, 얼굴 길이는  $117.03 \pm 5.49$  mm로 나타났다. 디지털 캘리퍼와 3D 스캐너의 값은 각각 측정된 1개의 값으로 산출하였다.

### 3) 성별에 따른 운동단계별 밀착계수

전체 밀착계수의 기하평균(기하표준편차)은 88.51 (2.98)이었으며, 남성 74.26(3.08), 여성 128.36(2.54)로 여성의 밀착계수가 통계적으로 유의하게 높았다 ( $p=0.002$ ). 또한, 운동단계별 밀착계수는 Step 3(머리 좌우로 움직이기)이 124.54(2.90)로 가장 높았고, Step 1(허리 굽혔다 펴기)이 73.75(3.51)로 가장 낮은 걸 볼 수 있었다(Table 2).

### 4) 성별에 따른 밀착계수 합격률 비교

총 136건의 밀착도 검사 건수 중 숨쉬기 곤란하여 중도 포기한 2건을 제외한 134건을 대상으로 밀착계수 합격률을 비교하였다. 전체 합격은 55.22%, 불합격은 44.78%이었으며, 남성은 49.45%, 여성은 67.44%로 여성의 합격률이 남성보다 높았다(Table 3).

### 5) 얼굴 길이에 따른 밀착계수 합격률 비교

성별에 따른 평균 얼굴 길이는 남성이  $118.70 \pm 6.53$  mm이고, 여성이  $111.65 \pm 5.82$  mm로 나타났다(data not shown). 마스크의 내부 seal 길이로 도출된 세로길이 110 mm를 연구 참여자의 얼굴 길이 기준으로 구분하였을 때, 얼굴 길이가 110 mm 미만인 경우 합격률은

**Table 2.** Fit factor between exercise stage vs. gender

Classification	GM(GSD)		Total(n=134)	p-value <sup>  </sup>
	Male(n=91)	Female(n=43)		
Overall(FF <sub>A</sub> )	74.26(3.08)	128.36(2.54)	88.51(2.98)	0.002
Step 1*	63.67(3.79)	100.66(2.77)	73.75(3.51)	0.060
Step 2 <sup>†</sup>	83.52(2.54)	150.23(2.31)	100.84(2.56)	0.000
Step 3 <sup>‡</sup>	102.62(2.79)	187.58(2.81)	124.54(2.90)	0.001
Step 4 <sup>§</sup>	87.33 (3.18)	138.71(2.66)	101.31(3.06)	0.029

Abbreviation : GM, geometric mean; GSD, geometric standard deviation

\*Step 1 : Bending over(50 seconds)

<sup>†</sup>Step 2 : Talking(30 seconds)

<sup>‡</sup>Step 3 : Turning head side to side(30 seconds)

<sup>§</sup>Step 4 : Moving head up and down(39 seconds)

<sup>||</sup>P-value was calculated by Kruskal Wallis test

**Table 3.** Comparison of pass rates by gender

Classification	n	Pass(FF <sub>A</sub> ≥ 100)	Fail(FF <sub>A</sub> < 100)	p-value*
Male	91	45(49.45%)	46(50.55%)	0.038
Female	43	29(67.44%)	14(32.56%)	
Total	134	74(55.22%)	60(44.78%)	

Abbreviation : FF<sub>A</sub>, overall fit factor

\*P-value was chi-squared test



**Table 4 .** Comparison of pass rates by face length

Classification	n	Pass (FF <sub>A</sub> ≥100)	Fail (FF <sub>A</sub> <100)	p-value*
<110 mm	24	22(91.67%)	2(8.33%)	0.000
≥110 mm	110	52(47.27%)	58(52.73%)	

\*P-value was chi-squared test

91.67%, 110 mm 이상인 경우 합격률은 47.27%로 조사되었다(Table 4).

#### IV. 고 찰

마스크 누설률(leakage)은 마스크 내부로 오염물질이 침투하는 경로를 말하며, 안면 밀착부위, 필터, 배기 밸브 및 마스크와 끈을 연결한 스텔 부분이다. 그 중에서 안면 밀착부위(face seal)가 누설률의 주 원인이다(Bergman et al., 2014). 밀착도 검사는 마스크 내부와 외부의 오염물질 농도 비로 안면부 밀착정도를 평가하는 방법 중 하나이다. 미국에서는 마스크의 밀착도 검사를 의무화하고 있으며 안면부 여과식 마스크에 대해서 정량적 밀착도가 100 이상을 합격기준으로 규정하고 있다(OSHAct, 2021). KOSHA GUIDE(H-82-2020)에서도 정량적 밀착도 검사 방법(에어로졸 측정법)은 반면형일 경우 밀착계수 100 이상, 전면형일 경우 500 이상을 합격으로 판정하고 있다.

호흡보호구의 밀착도 검사관련 연구는 N95 호흡보호구(Lee & Yang, 2002; Seo et al., 2020), 보건용 마스크(Han et al., 2021a) 및 산업용 방진마스크(Eoh & Shin, 2020)를 이용한 연구가 진행된 바 있다.

공기 중 에어로졸 측정법에 사용하는 밀착도 검사기기는 이소프로필 알코올 증기가 입자를 응축하여 계수하는 방식(Condensation Nuclei Counter, CNC)의 Pota Count(8048, TSI Inc., Shoreview, MN, USA)와 히터로 수분을 건조한 상태에서 입자를 계수하는 OPC 방식이 있으며 본 연구에서는 OPC 방식의 밀착도 검사기기를 사용하였다.

Eoh & Shin (2020) 연구는 이소프로필알코올 증기가 입자에 응축되는 방식으로 진행이 되어 본 연구를 진행하는 연구 방법과 차이가 있었다. 또한 Eoh et al., (2016) 연구에서는 컵형(cup type), 접이형의 방진 마스크(foldable type) 사이즈를 조정하며 밀착계수 값의 수치가 변화하는 것을 보고, 마스크 착용 시 누설되는 위치를 찾아 밀착계수를 높였다.

한편, 한국인의 머리 사이즈에 맞는 마스크를 개발하기 위해 3D 데이터를 이용한 연구가 있다. Park et al.(2021) 연구는 기존에 Size Korea에서 측정된 자료를 받아 45가지 머리 인체측정학적 데이터를 파악하였다. 삼차원 머리측정 방법은 수반되는 작업량이 많기 때문에 얼굴 복원 및 처리 시간이 길다는 단점이 있다(Kim et al., 2013; Seo et al., 2017). 그러나 본 연구에서는 착용 마스크의 크기를 중심으로 시험자의 얼굴 형상과의 관계를 먼저 찾는 것이 의미가 있다고 판단하여, 얼굴 측정 포인트 중에서 가장 단순한 두 곳을 점측식(캘리퍼)과 비점측식(3D 스캐너)으로 측정하여 사용하였다. 그 결과, 3D 스캐너로 측정했을 때의 입술 너비 및 얼굴 길이가 캘리퍼로 측정했을 때보다 큰 경향을 보였다. Zhuang et al.(2010)의 연구에서도 3D 스캐너를 활용한 측정값이 캘리퍼로 측정한 값보다 크게 나타났으며, 캘리퍼로 측정 시 가해지는 압력으로 인해 피부가 눌려질 수 있고 스캐너의 경우, 컴퓨터가 피부의 표면을 입체로 인식하기 때문에 캘리퍼보다 크게 측정될 수 있다고 하였다.

본 연구는 처음으로 2급 방진마스크를 이용하여 밀착도 평가를 실시하였다. 전체 밀착계수가 100 이상인 경우를 합격으로 평가하였을 때, 전체 합격률은 55.22%, 남성은 49.45%, 여성은 67.44%로 선행연구의 N95 마스크의 성공률 7.5% - 92.5%(Lee & Yang, 2002), 보건용 마스크의 성공률 50%(Han et al., 2021b)와 유사하였다. 본 연구에서는 여성의 합격률이 남성보다 높게 나타나 남성이 여성보다 밀착도가 높다는 선행연구(OSHRI, 2017;2019) 결과와는 차이가 있었다. 그러나 Eoh et al.(2016)과 Lee & Yang(2002)의 연구에서는 성별에 따른 밀착도의 차이가 없었으며, 남녀 평균 얼굴 길이가 각각 118.70 mm, 111.65 mm로 여성의 얼굴 길이가 남성보다 110 mm에 더 가까웠다. 따라서 본 검사에 사용한 마스크의 크기가 여자의 얼굴 길이에 더 적합했기 때문에 여성의 합격률이 높은 것으로 생각된다.

본 연구에서는 마스크 내부에 seal이 부착된 컵형 디자인이 마스크의 밀착계수를 훨씬 더 향상시킬 수 있다

는 점을 고려하여(Jung & Lee, 2021), 마스크의 내부 seal에서부터 세로길이를 기준으로 얼굴 길이별 밀착계수를 비교하였다. 그 결과, 얼굴 길이가 110 mm 미만의 합격률이 110 mm 이상일 때보다 유의하게 높았으나 추가적인 연구를 통해 성별의 차이인지 얼굴 길이의 차이인지 보다 명확히 조사할 필요가 있다고 생각된다.

밀착도 시험 도중, 연구참여자들의 마스크 착용 시 들뜸이나 끈 위치 등 개선사항을 다음 회차의 검사 시작 전에 간단하게 교육하였는데, 연속하여 총 4회 실시한 밀착도 검사에서 첫 번째 실시한 합격률보다 모두 합격률이 높았다. Han (2004)의 연구에서는 마스크가 시간이 지날수록 얼굴의 움직임에 따라 얼굴에 달라붙어 처음 보통호흡을 하면서 걸을 때보다 나중에 운동을 마무리하는 보통호흡 시 누설률이 더 적게 나온 것으로 추측하였으며, 본 연구도 마스크를 교체하지 않고 연속으로 시험을 진행하여 시험자의 입김이나 땀 등이 밀착도 시험결과에 영향을 끼쳤을 것으로 판단된다. 또한, 밀착도 검사 시 두 번째 실시한 경우와 교육 후의 합격률이 더 높게 나타났다고 보고되었으나(Lee & Yang, 2002; Seo et al., 2021), 본 연구에서는 마스크를 교체하지 않고 연속으로 시험을 실시했기 때문에 직접적으로 비교하기는 어렵다. 따라서 검사횟수와 교육의 효과 등을 검증하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

본 연구는 전술한 바와 같이, 2급 방진 마스크를 대상으로 밀착도 검사를 실시하였으나 실질적인 의미는 간이 누설률 검사라 할 수 있으며, 한 종류의 마스크를 대상으로 수행했다는 제한점이 있다. 또한 표본이 주로 20~30대 연령대에 분포되어 있어 다양한 얼굴 치수를 반영하지 못했기 때문에 추후 검증이 더 필요할 것으로 사료된다. 그러나 2급 방진마스크 포집효율의 한계로 인해 밀착도 평가가 적용될 수 없었다면 대부분의 결과가 “Fail”이 나왔을 것이나, 50% 이상의 “Pass” 결과가 나왔기 때문에 본 연구진은 2급 방진마스크에 대한 밀착도 검사가 불가능한 것은 아니라고 판단하였다. 보건용 마스크를 대상으로 밀착도를 평가한 연구에서도 KF80 마스크보다 KF94 마스크 착용 시 밀착도가 더 낮았는데, 더 높은 여과효율을 가진 필터의 경우에는 호흡저항으로 인한 내부 압력이 증가하여 얼굴 계면을 통해 더 많은 공기량이 새기 때문일 수도 있다고 하였다(Jung & Lee, 2021). 또한 HSE에서는 국내 2급 방진마스크에 해당되는 FFP1의 밀착도 검사에 대한 밀착

계수를 100 이상으로 권고하고 있으므로 2급 방진 마스크에 대한 밀착도 검사도 가능할 수 있을 것으로 추측된다. 따라서 향후 다양한 제조사별 2급 방진마스크 및 안면크기의 분포를 고려한 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

## V. 결 론

본 연구는 광산란 방식의 밀착도 검사방법으로 2급 방진마스크의 밀착정도를 평가하는 것이 가능함을 확인하기 위해 3D스캐너와 디지털 캘리퍼를 이용하여 얼굴 치수를 측정하고, 성별에 따라 밀착계수를 평가하였다. 그 연구 결과는 다음과 같다.

1. 3D 스캐너와 디지털 캘리퍼를 이용한 얼굴 치수 비교는 입술너비에서 약 4 mm가 차이가 나고 얼굴 길이의 차이는 10 mm 차이가 났다.
2. 성별에 따른 운동단계별 밀착계수는 Step 3에서 밀착계수가 124.54로 가장 높게 나타났고, Step 1에서 밀착계수가 73.75로 가장 낮았다.
3. 성별에 따른 밀착 정도의 평가는 여성의 합격률이 67.44%로 남성보다 높았다.
4. 얼굴 길이가 110 mm 미만인 그룹의 합격률이 91.67%, 110 mm 이상인 그룹의 합격률이 47.27%로 나타났다.
5. FFP1에 해당되는 2급 방진마스크로 시험한 밀착계수는 55% 이상 합격하였으므로 밀착도 검사가 가능하였다.

결론적으로 2급 방진마스크에 대한 밀착도 검사가 가능할 것으로 추측되며, 밀착 정도에 영향을 미치는 얼굴크기에 맞는 마스크 착용이 중요하다.

## 감사의 글

이 연구는 ㈜태원시바타와 강원대학교 연구소 환경개선 지원사업의 지원을 받았음

## References

- American National Standards Institute(ANSI). American National Standard for Respiratory Protection ANSI Z88.2. 1992
- Bergman M, Zhuang Z, Hanson D, Heimbuch B,

- McDonald M et al. Development of an Advanced Respirator Fit-Test Headform. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2014;11(2):117-125
- Eoh WS, Choi YB, Shin CS. Comparison of Effects of Mask Style and Donning Training on Fit Factors of Particulate Filtering Facepiece Respirators. *Journal of the Korean Society of Safety* 2016;31(5):35-41 (<https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2016.31.5.35>)
- Eoh WS, Shin CS. Effects of Fit Factor and Visual Acuity of Eyeglasses Wearers when Wearing Particulate Filtering Facepiece Respirators. *Journal of the Korean Society of Safety* 2020;35(3):105-115 (<https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2020.35.3.105>)
- Han DH. Inward leakage test for particulate filtering respirators in Korea. *Journal of Environmental Health Sciences* 2004;30(5):432-439
- Han JH, Kim DH, Kim GD, Kim JK. Assessment of Fit Factors between Different Shapes and Wearing Practices of Filtering Facepiece Respirators. *J Korean Soc. Living Environ Sys* 2021a;28(5):458-465(<https://doi.org/10.21086/ksles.2021.10.28.5.458>)
- Han SH, Cha KS, Yoo SY, Han JO. Comparison of N95 Respiratory Mask Fit Testing. *Korean J Nosocomial Infect Control* 2021b;26(2):108-114(<https://doi.org/10.14192/kjicp.2021.26.2.108>)
- Health and Safety Executive(HSE). Guidance on respiratory protective equipment (RPE) fit testing. 2019
- Jung JY, Lee JY. Comparison of Fit Factor and Total Inward Leakage of Face Masks : Exploratory Evaluation by Mask Designs and Face Panels. *Journal of the Korean Society of Safety* 2021;28(4):377-390
- Kim JK, Kim JM, Cho HJ. 3D Face Modeling from a Frontal Face Image by Mesh-Warping. *Journal of Korea Multimedia Society* 2013;16(1):108-118(<https://doi.org/10.9717/kmms.2013.16.1.108>)
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). Guidelines for selection, use and care of respirator (KOSHA Guide H-82-2020).; 2020
- Lee KY, Yang WH. Quantitative Fit Test of NIOSH-certified N95 Respirators. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2002;12(3):141-145
- Occupational Health and Safety Act(OSHAct). 29CFR 1910.134. Respiratory protection. 2021 Available from: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134AppA>
- Occupational Safety & Health Certification Institute. (OSHCI). Safety certification lists(excel). 2009-2002. [Accessed 2022 April 18]. Available from: URL: <https://miis.kosha.or.kr/oshci/busi/listPrtSafetyCheck.do?searchType=C>
- Occupational Safety and Health Research Institute. (OSHRI). Study on Fit Performance Survey for Respirators and Suggestion on Fit Test Regulation I (OSHRI Public Notice No. 2017-Research Institute-969).; 2017. p.1-175
- Occupational Safety and Health Research Institute. (OSHRI). Study on Fit Performance Survey for Respirators and Suggestion on Fit Test Regulation II (OSHRI Public Notice No. 2019-Research Institute-1422).; 2019. p.1-429
- Park JK, Kim SD, Cho HM. An Analysis of Three-Dimensional Head Anthropometric Data to Select Respirators for Korean Users. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2021;31(4):521-530 (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2021.31.4.521>)
- Seo HK, Kim J, Yoon JS, Shin DH, Kim HW. Analysis of 3D Facial dimensions and Pulmonary Capacity of Korean Children for Designing of Children's Dust Masks. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2017;27(4):269-282(<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2017.27.4.269>)
- Seo HK, Kang BK, Kwon YI. Fit testing for domestic N95 medical masks. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene* 2020;30(2):124-133 (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2020.30.2.124>)
- Seo HK, Kwon YI, Myong JP, Kang BK. Fit comparison of Domestic N95 Medical Masks in a Fit test. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene* 2021;31(1):94-104 (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2021.31.1.94>)
- Size Korea Center. Available from: URL:<https://sizekorea.kr/>
- Zhuang Z, Benson S, Viscusi D. Digital 3-D headforms with facial features representative of the current US workforce. *Ergonomics* 2010;53(5):661-671 (<https://doi.org/10.1080/00140130903581656>)

#### <저자정보>

조기홍(책임연구원), 김현수(수석연구원), 최아름(선임연구원), 천지영(연구원), 강태원(교수), 김민수(대리), 박경학(파트장), 김제원(교수)